



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

**TUGAS AKHIR - ME 091328**

**MODIFIKASI SISTEM PENGINJEKSIAN BAHAN  
BAKAR PADA DUAL FUEL DIESEL ENGINE**

Dimas Kurniawan  
NRP 4210100057

Dosen Pembimbing  
Prof. Semin, ST. MT. Ph.D.  
Ir. Indrajaya Gerianto, M.Sc

JURUSAN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2016



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

**TUGAS AKHIR - ME 091328**

## **FUEL INJECTION SYSTEM MODIFICATION OF DUAL FUEL DIESEL ENGINE**

Dimas Kurniawan  
NRP 4210100057

Advisor  
Prof. Semin, ST. MT. Ph.D.  
Ir. INdrajaya Gerianto, M.Sc

DEPARTMENT OF MARINE ENGINEERING  
Faculty of Marine Technology  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2016

## LEMBAR PENGESAHAN

# MODIFIKASI SISTEM PENGINJEKSAN BAHAN BAKAR PADA DUAL FUEL DIESEL ENGINE

### SKRIPSI

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

pada

Bidang Studi *Marine Power Plant (MPP)*

Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

**Dimas Kurniawan**

**NRP. 4210100057**

Disetujui oleh Kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan:



**Dr. Eng. M. Badrus Zaman, ST., MT.**

**NIP 1977 0802 2008 01 1007**

## LEMBAR PENGESAHAN

### MODIFIKASI SISTEM PENGINJEKSAN BAHAN BAKAR PADA DUAL FUEL DIESEL ENGINE

#### TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada

Bidang Studi *Marine Power Plant (MPP)*  
Program Studi S – 1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

**DIMAS KURNIAWAN**  
NRP. 4210 100 057

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:

1. Prof. Semin., ST., MT., Ph.D.

()

2. Ir. Indrajaya Gerianto, M.Sc

(.....)

SURABAYA  
JANUARI 2017

## **LEMBAR PENGESAHAN**

### **MODIFIKASI SISTEM PENGINJEKSAN BAHAN BAKAR PADA DUAL FUEL DIESEL ENGINE**

#### **SKRIPSI**

**Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada**

**Bidang Studi Marine Power Plant (MPP)  
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sistem Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Oleh :

**DIMAS KURNIAWAN**  
NRP 4210 100 057

**Disetujui oleh Pembimbing SKRIPSI :**

- 1) Semin, ST., MT., Ph.D**  
*NIP. 1971 0110 1997 02 1001*
- 2) Ir. Indrajaya Gerianto, M.Sc.**  
*NIP. 1950 0505 1982 11 1001*

.....

.....

*Handwritten signature and date: 4/8/14*

**SURABAYA**  
**Juli 2014**

## **KATA PENGANTAR**

Segala puji bagi Allah SWT Tuhan semesta alam dan atas segala rahmat dan Ridho-Nya, alhamdulillah penulis mampu menyelesaikan :

### **MODIFIKASI SISTEM PENGINJEKSIAN BAHAN BAKAR PADA DUAL FUEL DIESEL ENGINE**

Skripsi ini merupakan salah satu persyaratan yang harus dipenuhi dalam menyelesaikan pendidikan di Jurusan Teknik Sistem Perkapalan Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Penulis juga mengucapkan terimakasih kepada:

1. Allah SWT
2. Kedua orang tuapenulis bapak Ir. Nenet Arif Djunaedi dan ibu Dra. Risa Ulfianaserta saudara penulis Aditya Darmawan, SE dan Trinanda Imawan Wibisono atas doa serta dukungannya selama pengerjaan tugas akhir ini.
3. Kedua dosen pembimbing bapak Semin, ST. MT. Ph.D dan bapak Ir. Indrajaya Gerianto, M.Sc atas bimbingan yang telah banyak diberikan dalam pengerjaan tugas akhir ini, walaupun dalam prosesnya mengalami kesusahan, namun sekali lagi atas bimibingan bapak bapak dosen yang saya hormati di atas, saya mampu menyelesaikan
4. Serta teman-teman penulis Adin Putra, Rizaldy Abdillah, Ananta Uchiha, Arindra Domba, mas Khalik, mas Oki Galuh mas Agris, Mas Arsyil Wahab,dsb Amin, teman-teman nongkrong mas Yahya Kahfi , GK40 dan teman-teman yang lain atas bantuan serta semangatnya.

Sehingga tugas akhir ini dapat diselesaikan, meskipun masih terdapat kekurangan. Semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat dikemudian hari. Terima kasih.

Surabaya, July 2014  
Penulis

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# **MODIFIKASI SISTEM PENGINJEKSIAN BAHAN BAKAR PADA DUAL FUEL DIESEL ENGINE**

Dimas Kurniawan  
4210 100 057

Dosen Pembimbing I : Prof. Semin, ST.MT.Ph.D. Dosen  
Pembimbing II : Ir. Indrajaya Gerianto, M.Sc.

## **Abstrak :**

Dalam dunia Maritim, garis besar menggunakan mesin diesel sebagai penggerak utama. Lambat laun kebutuhan bahan bakarsebagai tenaga penggerak utama yang semakin meningkat tidak diimbangi dengan persediaan sumber daya alam yang semakin menipis. Semakin meningkatnya intensitas transportasi dan produksi maka kebutuhan bahan bakar akan semakin meningkat, terutama bahan bakar Solar. Solar adalah bahan bakar yang banyak digunakan untuk keperluan industri dan transportasi. Kendaraan – kendaraan berat, pembangkit listrik menggunakan mesin diesel yang berbahan bakar solar, berbeda dengan kendaran darat, tranportasi laut tidak menggunakan harga solar industri sehingga dari segi ekonomis sangat todak efisien. Mesin diesel banyak digunakan stabil di segala kondisi dan lebih hemat pemakaian bahan. Keuntungan dari mesin diesel adalah : (1) Konsumsi bahan bakar rendah; (2) Bahan bakarnya relatif murah; (3) Proses start yang cepat, mesin diesel bisa di start secara instant dan mampu berlari pada beban penuh dalam tempo singkat; (4) Dapat dengan mudah dioperasikan secara *reversible*.

Motor pembakaran dalam adalah motor bakar torak yang proses terjadinya daya atau penambahan panas terjadi di dalam sistem yang terisolasi atau adiabatik terhadap udara luar. Motor Diesel merupakan salah satu motor bakar dalam yang menggunakan piston atau batang torak sebagai transfer panas menjadi daya berupa torsi atau putaran. Proses masuknya bahan bakar ke dalam ruang bakar adalah melalui *Fuel injection Pump*, dan Injector. Tapi yang dikerjakan dalam tugas akhir ini adalah modifikasi pada fuel injection pump dan komponennya berupa penambahan packing yang mengubah derajat injeksi dan debit bahan



bakar yang diinjeksikan dan perubahan torsi pada fuel injection bolt nut untuk merubah derajat injeksi. Perlunya perubahan injeksi adalah karena addition dari bahan bakar alternative yaitu CNG, atau *Compressed Natural Gas* yang diberi porsi Solar 90% dan CNG 10%

Hasil dari perubahan injeksi dari standar 18 derajat ke, 22 derajat, 18 derajat dan 10 derajat menunjukan hasil yang signifikan, berupa penghematan bahan bakar setelah ditembak CNG melebihi angka 10%, dan daya mesin yang meningkat pada injeksi standard. Terjadi knocking pada 22 derajat sudut penginjeksian. Sayangnya penelitian tidak bisa tuntas karena alat penelitian berupa dynamometer dan torsi meter tidak ada.

**Kata kunci :** *diesel, fuel injection pump, derajat injeksi*

# **FUEL INJECTION SYSTEM MODIFICATION OF DUAL DUEL DIESEL ENGINE**

Dimas Kurniawan  
4210 100 057

Dosen Pembimbing I : Prof. Semin, ST.MT.Ph.D. Dosen  
Pembimbing II : Ir. Indrajaya Gerianto, M.Sc.

## **Abstract :**

Diesel engine has been used as prime mover for ship since the past decades. As increasing the needs of transportation and distribution, the chain effect influence fuel needs as well but the resources were lacking. Solar is the main fuel needed for industrion and transportation, power plant hence as the growth of the civilization so does the demand and consumption of solar increase. Solar used in industrial needs are different somehow from what we use in daily life. The advantages are :

- (1) Low fuel consumption during operation, (2) Relatively affordable,
- (3) Short starting time needed, and can reach top speed relatively fast,
- (4) Easily reversible operated.

Combustion process occured when the injected fuel is sprayed inside the adiabatic system of the internal combustion chamaber of the engine. Diesel engine is one of those internal combustion engine which use piston as the main parts of compressing the air adiabatically and trasnfer the power resulted as the fuel injected into torque. Hence, this thesis mainly focus on the modification of fiel injection system and its parts. The variation of measuring and increasing the gasket of engine governoor system can change the volume fuel injected and the change of torque in the bolt nut can variate the injection timing. The needs of modification is caused by the addition of the alternative fuel which is, CNG, or Compressed Natural Gas with 9 : 1 fuel ratio ( 9 solar fuel, 1 CNG fuel).

The variation fabricated from 18 degrees to 22 degrees, 18 and 10 degress Before TDC(Top Dead Center) resulting in significant change. With alternative fuel included above 10% of total volume, the saving of the primary fuel is occured even in standard injection timing before modification is occured. Engine knock is occured when the variation of

injection timing reach 22 degrees and above. Unfortunately, the research and trial is lacking the right measurement needed which is, torque meter and eventually need dyna test to clearly detest the power prodeuced from the research above.

**Keyword :** *diesel, fuel injection, timing injection*

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR.....</b>	<b>v</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN.....</b>	<b>vii</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>ix</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>xi</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>xv</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xvii</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xix</b>

<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	3
1.3 Batasan Masalah .....	3
1.4 Tujuan Penelitian .....	4
1.5 Manfaat Penelitian .....	4

<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>6</b>
2.1 Dasar Teori Motor Diesel .....	6
2.2 Minyak Solar.....	7
2.3 Proses Pembakaran pada Motor Diesel .....	9
2.3.1 Faktor yang Mempengaruhi Pembakaran.....	13
2.3.1.1 Tekanan Injeksi .....	13
2.3.1.2 Sudut Awal Injeksi .....	13
2.4 Siklus Diesel .....	17
2.5 Hukum Termodinamika I pada Motor Diesel .....	18
2.5.1 Heat Capacity dalam Tekanan Konstan .....	20

<b>BAB III METODOLOGI.....</b>	<b>21</b>
3.1 Perumusan Masalah .....	21
3.2 Studi Literatur .....	23
3.3 Bahan dan Alat Penelitian .....	23
3.4 Perhitungan .....	28
3.5 Modifikasi Alat .....	28
3.6 Percobaan Alat .....	29
3.7 Analisa Data Percobaan dan Pembahasan .....	29
3.8 Kesimpulan dan Saran .....	29

<b>BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>30</b>
4.1 Data mesin .....	30
4.1.1 SpesifikasiMesin .....	30
4.1.2 TekananpadaSilinder.....	34
4.1.3 Siklus Diesel Mesin .....	34
4.2 ModifikasiMesin Diesel.....	39
4.2.1 Modifikasi Packing Fuel Injection Pump .....	39
4.2.2 Modifikasi Torsi pada Fuel Injection Pump Bolt .....	44
4.3 AnalisaVariasi Packing .....	45
 <b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	 <b>52</b>
5.2 Kesimpulan .....	52
5.3 Saran .....	53

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b> Tingkat Pembakaran dalam Sebuah Mesin .....	8
<b>Tabel 3.1</b> Spesifikasi Mesin Diesel Yanmar TF 85 MH di .....	24
<b>Tabel 4.1</b> Spesifikasi Mesin Diesel Yanmar TF 85 MH di .....	24
<b>Tabel 4.2</b> Spesifikasi Injeksi Solar motor diesel .....	31
<b>Tabel 4.3</b> Spesifikasi bahan bakar solar .....	31
<b>Tabel 4.4</b> Cam Lift .....	32
<b>Tabel 4.5</b> Teori Pengencangan Baut pada Mesin .....	34
<b>Tabel 4.6</b> Tekanan Silinder terhadap Sudut Crank .....	38
<b>Tabel 4.7</b> Perubahan Volume dan Sudut Injeksi terhadap Tebal packing .....	34
<b>Tabel 4.8</b> Perubahan Torsi dan Sudut Injeksi .....	44
<b>Tabel 4.9</b> Hasil Percobaan Sudut injeksi 20 <sup>0</sup> sebelum TMA (solar) .....	46
<b>Tabel 4.9</b> Hasil Percobaan Sudut injeksi 20 <sup>0</sup> sebelum TMA (solar + CNG) .....	46
<b>Tabel 4.11</b> Hasil Percobaan Sudut injeksi 18 <sup>0</sup> sebelum TMA (solar) .....	48
<b>Tabel 4.12</b> Hasil Percobaan Sudut injeksi 18 <sup>0</sup> sebelum TMA (solar + CNG) .....	49
<b>Tabel 4.13</b> Hasil Percobaan Sudut injeksi 10 <sup>0</sup> sebelum TMA (solar) .....	50
<b>Tabel 4.14</b> Hasil Percobaan Sudut injeksi 10 <sup>0</sup> sebelum TMA (solar + CNG) .....	51

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b> <i>Degree of Crank Angle Pressure</i> .....	11
<b>Gambar 2.2</b> Sudut $20^0$ Injeksi .....	15
<b>Gambar 2.3</b> Sudut $18^0$ Injeksi .....	16
<b>Gambar 2.4</b> Sudut $15^0$ Injeksi .....	16
<b>Gambar 2.5</b> Volume Total dan Volume Kompresi .....	18
<b>Gambar 3.1</b> Fuel Injection Pump .....	24
<b>Gambar 3.2</b> Kunci Torque .....	25
<b>Gambar 3.3</b> GelasUkur .....	25
<b>Gambar 3.4</b> BusurDerajat .....	26
<b>Gambar 3.5</b> <i>Fuel Cam Measurer</i> .....	27
<b>Gambar 3.5</b> <i>Packing Fuel Injection Pump</i> .....	28
<b>Gambar 4.1</b> Diesel Yanmar TF 85 MH-di .....	31
<b>Gambar 4.2</b> Dimensi Piston .....	37
<b>Gambar 4.3</b> JumlahInjeksi solar packing 4.5mm .....	41
<b>Gambar 4.4</b> JumlahInjeksi solar packing 5mm .....	42
<b>Gambar 4.5</b> JumlahInjeksi solar packing 5.5mm .....	43
<b>Gambar 4.6</b> <i>Fuel Injection Pump</i> .....	44
<b>Gambar 4.7</b> <i>Ignition Delay Process</i> sudutinjeksi $20^0$ derajatsebelum TMA (Solar) .....	47
<b>Gambar 4.8</b> <i>Ignition Delay Process</i> sudutinjeksi $20^0$ derajatsebelum TMA (Solar + CNG) .....	48
<b>Gambar 4.9</b> <i>Ignition Delay Process</i> sudutinjeksi $18^0$ derajatsebelum TMA (Solar) .....	49
<b>Gambar 4.10</b> <i>Ignition Delay Process</i> sudutinjeksi $18^0$ derajatsebelum TMA (Solar + CNG) .....	50
<b>Gambar 4.11</b> <i>Ignition Delay Process</i> sudutinjeksi $10^0$ derajatsebelum TMA (Solar) .....	51

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Dalam dunia Maritim, garis besar menggunakan mesin diesel sebagai penggerak utama. Lambat laun kebutuhan bahan bakarsebagai tenaga penggerak utama yang semakin meningkat tidak diimbangi dengan persediaan sumber daya alam yang semakin menipis. Semakin meningkatnya intensitas transportasi dan produksi maka kebutuhan bahan bakar akan semakin meningkat, terutama bahan bakar Solar. Solar adalah bahan bakar yang banyak digunakan untuk keperluan industri dan transportasi. Kendaraan – kendaraan berat, pembangkit listrik menggunakan mesin diesel yang berbahan bakar solar. Mesin diesel banyak digunakan stabil di segala kondisi dan lebih hemat pemakaian bahan. Keuntungan dari mesin diesel adalah : (1) Konsumsi bahan bakar rendah; (2) Bahan bakarnya relatif murah; (3) Proses start yang cepat, mesin diesel bisa di start secara instant dan mampu berlari pada beban penuh dalam tempo singkat; (4) Dapat dengan mudah dioperasikan secara *reversible*.

Di antara kelebihan itu tentu saja pada mesin diesel juga ada kekurangan, antara lain : (1) Harga yang mahal untuk mesin diesel, dikarenakan tekanan yang tinggi saat dioperasikan, memerlukan konstruksi yang lebih rumit dan material yang tahan panas dan tekanan tinggi; (2) Berat dari mesin diesel melebihi mesin otto karena konstruksi yang rumit dan memerlukan material khusus, maka berpengaruh juga pada beratnya; (3) Mesin diesel memakan tempat; (4) Emisi yang buruk apabila ada sisa bahan bakar yang tidak terbakar yang keluar dari mesinberupa asap hitam.

Walaupun dengan beberapa kelebihan yang disebutkan, mesin berbahan bakar solar cukup memberikan polusi udara yang



berdampak ke lingkungan, udara yang mengandung karbon, asap hitam yang keluar dari mesin, sehingga udara bersih kini sulit dicari. Sektor industri dan transportasi cukup menyumbang sebagai penghasil emisi gas rumah kaca. Namun, faktor utama terjadinya pengkajian terhadap mesin adalah penggunaan minyak bumi. Kemajuan teknologi dan meningkatnya jumlah penduduk membuat kebutuhan akan sumber daya alam meningkat, namun tidak diimbangi dengan ketersediaan sumber daya karena minyak bumi termasuk sumber daya alam yang tidak mampu diperbaharui. Perhatian pemerintah terhadap masalah ini mulai tumbuh karena efeknya yang mulai terlihat, banyak solusi mulai diberikan seperti pemakaian biodiesel sebagai bahan bakar alternatif yang lebih ramah lingkungan dan ketersediaannya yang mampu diperbaharui karena berasal dari tumbuh tumbuhan, namun karena harganya yang hampir sama dengan solar di pasaran, biodiesel menjadi tidak ekonomis maka diperlukan solusi lain. Solusi lain yang dapat diambil adalah penggunaan bahan bakar ganda pada diesel yang menjadi momok dewasa ini. Dalam sistem bahan bakar ganda menggunakan minyak bumi dan gas alam, gas alam dinilai mempunyai emisi rendah dikarenakan menghasilkan pembakaran yang sempurna pada diesel. Gas alam yang dipakai adalah *Compressed Natural gas* atau CNG. CNG mengandung 90% lebih metana dan lebih ekonomis dari solar karena tidak melalui proses distilasi seperti yang dialami oleh solar dan LPG.

Pada awal tahun 1930, ketertarikan banyak meningkat peneitian pada mesin yang beroperasi dengan *dual fuel*. Ketertarikan ini dikarenakan (1) Terbatasnya sumber daya minyak mentah, (2) Polusi, (3) Kebutuhan akan mesin yang *durable* dan efisien. Fokus nya adalah pada menggunakan bahan bakar gas sebagai bahan bakar utama pada mesin kompresi, karena temperatur ignisinya yang tinggi, dibutuhkan diesel cair (pilot oil) untuk meningkatkan temperatur dari campuran tersebut. Gagasan tersebut mendapat momentum tinggi karena bahan bakar

gas adalah sumber daya yang dapat diperbaharui dengan emisi rendah. Untuk lebih jauh, bahan bakar gas mempunyai nomor oktana yang tinggi seperti pada bahan bakar bensin, dan dapat digunakan secara konvensional pada mesin kompresi tinggi seperti mesin diesel dengan modifikasi yang sederhana.

## 1.2. Perumusan Masalah

Masalah yang akan dibahas pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

- (1) Berapa Volume Bahan Bakar (Pilot Diesel Oil) yang ideal untuk memicu adanya ledakan dari campuran CNG (Compressed Natural Gas) dan udara pada ruang bakar *Dual Fuel Diesel Engine*
- (2) Mencari timing yang akurat saat penginjeksian *pilot oil* ke ruang bakar dari *Dual Fuel Diesel Engine*.
- (3) Bagaimana modifikasi yang tepat sistem penginjeksian pada modifikasi *diesel engine* menjadi *Dual Fuel Diesel Engine*.

## 1.3. Batasan Masalah

Adapun batasan masalah yang dibatasi pada pengerjaan tugas akhir Modifikasi sistem injeksi pada *Dual Fuel Diesel Engine* ini adalah :

- (1) Modifikasi akan dilakukan pada sistem penginjeksian bahan bakar solar (atau bisa disebut injeksi *pilot diesel oil*)
- (2) Pengaturan timing dan volume bahan bakar solar yang masuk ke dalam ruang bakar.

- (3) Masalah emisi dan penginjeksian CNG (Compressed Natural Gas) tidak akan dibahas pada bagian ini.

#### **1.4.Tujuan Penelitian**

Tujuan dibuatnya modifikasi sistem injeksi pada *Dual Fuel Engine* ini adalah :

- (1) Untuk Mengetahui volume bahan bakar yang efisien untuk memicu adanya ledakan dari campuran CNG dan udara pada ruang bakar *Dual Fuel Diesel Engine*
- (2) Untuk Mengetahui timing yang akurat saat penginjeksian *pilot diesel oil* ke ruang bakar dari *Dual Fuel Diesel Engine*
- (3) Untuk mendapatkan modifikasi sistem penginjeksian *pilot diesel oil* pada modifikasi *Diesel Engine* menjadi *Dual Fuel Diesel Engine*.

#### **1.5.Manfaat Penelitian**

Keluaran yang diharapkan dari pencapaian tugas akhir ini adalah :

- (1) Pemakaian dari *Dual Fuel Engine* diharapkan mampu mengurangi dan menghemat konsumsi solar dan meningkatkan konsumsi dan mengeksploitasi kegunaan dari gas CNG (*Compressed Natural Gas*)
- (2) Penambahan bahan bakar CNG diharapkan menghasilkan torsi yang lebih besar.

- (3) Menginformasikan pada masyarakat tentang adanya *Dual Fuel Diesel Engine* yang lebih hemat tapi menghasilkan daya yang lebih besar.

*Halaman Ini Sengaja Dikosongkan*

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1. Dasar teori Motor Diesel**

Motor pembakaran dalam adalah motor bakar torak yang proses terjadinya daya atau penambahan panas terjadi di dalam sistem yang terisolasi atau adiabatik terhadap udara luar. Motor Diesel merupakan salah satu motor bakar dalam yang menggunakan piston atau batang torak sebagai transfer panas menjadi daya berupa torsi atau putaran. Motor Diesel juga biasa disebut dengan CI Engine atau *Compression Ignition Engine*, yaitu mesin yang bekerja pada rasio kompresi tinggi yang hanya menggunakan udara terkompres sebagai media untuk menghasilkan proses Daya. Berbeda dengan SI Engine atau *Spark Ignition Engine* yang menggunakan busi sebagai penyulut campuran homogen antara bahan bakar dengan udara yang dikompres secara bersamaan, dan sebelumnya telah dicampur di dalam karburator. Motor Diesel atau CI engine hanya memasukkan udara ke dalam ruang bakar kemudian dikompres oleh piston dan bahan bakar diinjeksikan sesaat sebelum piston mencapai TMA (Titik Mati Atas) hingga pada beberapa derajat setelah TMA bahan bakar akan meledak dengan sendirinya karena telah mencapai suhu dan tekanan yang cukup untuk membuat ledakan dan mendorong piston untuk kembali ke TMB dan begitu seterusnya. Selain disebut CI engine atau *Compression Ignition engine*, motor diesel juga disebut *Autoignitionengine* karena bahan bakar diinjeksikan

dengan tekanan dan terjadi pengabutan sehingga partikel bahan bakar yang mengecil, kemudian titik – titik kecil tersebut menguap karena tekanan dan suhu tinggi dari udara terkompres dan akhirnya bahan bakar meledak atau terbakar dengan sendirinya. (Stone, R.1985)

## **2.2.Minyak Solar**

Indonesia memproduksi 2 jenis bahan bakar mesin diesel, yaitu solar yang digunakan untuk motor dengan putaran mesin tinggi (lebih dari 1200 rpm) dan minyak diesel untuk motor dengan putaran rendah (kurang dari 500 rpm). sifat fisis bahan bakar perlu diperhatikan untuk menghindari kerusakan alat dan kerugian lainnya yang mungkin timbul akibat penggunaan bahan bakar tersebut. Selain itu sifat fisis juga berpengaruh pada kualitas penyalan.

Berikut ini adalah data spesifikasi fisis dan kimiawi dari solar produksi dari perusahaan minyak Indonesia (PT.Pertamina) :

**Tabel 2.1.** Tingkat pembakaran dalam sebuah mesin(Sumber: Lampiran Keputusan Dirjen Migas 3675 K/24/DJM/2006tanggal 17 Maret 2006)

No.	KARAKTERISTIK	SATUAN	BATASAN		METODE
			MIN	MAKS	ASTM
1	Bilangan Cetana				
	Angka Setana atau	-	48	-	D 613-95
	Indeks Setana	-	45	-	D 4737-96a
2	Berat Jenis pada 15°C	Kg/m <sup>3</sup>	815	870	D1298/D4052-96
3	Viscositas (pada suhu 40°C)	mm <sup>2</sup> /sec	2	5	D 445-97
4	Kandungan Sulfur	%m/m	-	0.35	D 2622-98
5	Distilasi Temp. 95	°C	-	370	
6	Titik Nyala	°C	60	-	D 93-99c
7	Titik Tuang	°C	-	18	D 97
8	Residu Karbon	% m/m	-	0.1	D 4530-93
9	Kandungan Air	mg/kg	-	500	D 1744-92
10	Kandungan FAME*)	% v/v	-	10	
11	Kandungan metanol dan Etanol	% v/v	tak terdeteksi		D 4815
12	Kandungan Abu	% v/v	-	0.01	D 482-95
13	Kandungan Sedimen	% m/m	-	0.01	D 473
14	Bilangan Asam Kuat	mg KOH/g	-	0	D 664
15	Bilangan Asam Total	mg KOH/g	-	0.6	D 664
16	Partikulat	mg/l	-	-	D 2276-99
17	Penampilan Visual		jernih & terang		
18	Warna	No.ASTM		3	D 1500

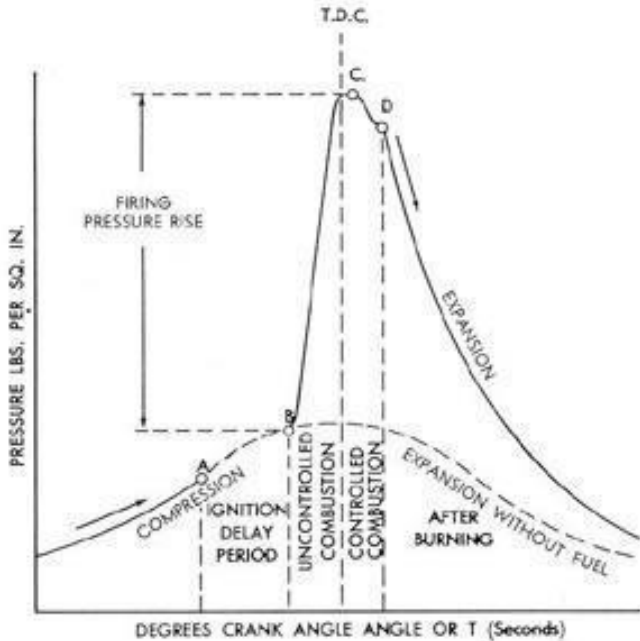


## 2.3 Proses Pembakaran Pada Motor Diesel

Pembakaran adalah reaksi kimia terjadi karena adanya bahan bakar, panas dan oksigen. Sebagai hasil dari pembakaran tersebut akan menghasilkan Karbon Dioksida ( $\text{CO}_2$ ) dan Uap Air ( $\text{H}_2\text{O}$ ). Pembakaran pada motor diesel sendiri memerlukan komposisi bahan bakar dan udara yang tepat yang disebut (Air Fuel Ratio), walaupun pada motor diesel kondisi “real” nya bekerja pada *excess air* atau kandungan udara yang lebih. Kandungan udara yang lebih ini bertujuan untuk mengurangi masa bahan bakar yang tidak terbakar dan tersisa pada ruang bakar. (Heywood, J.B. 1976)

Proses pembakaran pada motor diesel melingkupi dua proses yaitu proses fisik (*physical delay*) dan proses kimia (*chemical delay*). Proses fisik pada pembakaran adalah saat bahan bakar dipompa dari fuel pump menuju injektor dan bahan bakar dikabutkan dengan tekanan tinggi pada ruang bakar dan menjadi partikel partikel yang lebih kecil, untuk proses selanjutnya adalah proses kimia. Untuk proses kimia itu sendiri adalah proses dimana butiran – butiran bahan bakar atau partikel – partikel bahan bakar yang kecil tersebut menerima panas dari udara yang terkompres di ruang bakar, dan masing – masing dari partikel tersebut menguap sedikit demi sedikit dan bergerak secara turbulen di ruang bakar sebagai akibat dari kompresi dari piston. Partikel – partikel dalam jangka waktu tertentu akan membuat bahan bakar yang keluar dari injektor terbakar sampai piston mencapai sudut tertentu dan berhenti melakukan proses injeksi bahan bakar.

Proses daya yang terjadi sebagai akibat dari ledakan adalah gerak dari piston menuju TMB (Titik Mati Bawah) dan pengembangan volume dari gas yang terkompres dan diberi panas berupa bahan bakar yang diinjeksikan melalui injektor. Perbedaan yang mencolok terhadap motor otto atau mesin bensin adalah pada diesel, proses pembakaran tidak dapat terkontrol karena tidak terdapat busi (*spark plug*) sehingga proses terjadinya pembakaran adalah proses kimia secara penuh. Proses pembakaran pada motor diesel sendiri terdiri dari tahapan – tahapan *ignition delay period*, *uncontrolled combustion*, *controlled combustion*, dan *after burning*. Ignition delay period adalah proses dimana energi atau panas dari udara yang terkompres diterima oleh partikel – partikel bahan bakar, *uncontrolled combustion* adalah dimana sebagian kecil dari partikel tersebut mulai menguap dan bergerak bebas di dalam ruang bakar, *controlled combustion* adalah dimana bahan bakar yang diinjeksikan terbakar seluruhnya dan menjaga tekanan di ruang bakar konstan hingga masa akhir injeksi. Dan proses *Afterburning*, adalah proses Bergeraknya piston menuju TMB dan pengembangan volume udara karena panas yang diberikan oleh bahan bakar. Untuk lebih jelasnya akan dijabarkan pada gambar dibawah.(Sungkono, D.2011)



**Gambar 2.1** Degrees of Crank Angle to Pressure

(source:<http://maritime.org/doc/fleetsub/diesel/img/fig9-01.jpg>)

1. Periode 1: Waktu pembakaran tertunda (*ignition delayperiod*)

Pada periode ini disebut fase persiapan pembakaran, pada tahap persiapan pembakaran ini terjadi dua proses tunda atau *delay* yang terjadi yaitu proses fisik (*physical delay*) dan proses kimia (*chemical delay*). *Physical delay* adalah proses bahan bakar dipompa dari fuel pump dan proses pengabutan solar menjadi partikel partikel yang lebih kecil oleh injektor, *chemical delay* adalah partikel – partikel kecil solar mengalami penguapan namun belum menjadi api. Faktor yang

mempengaruhi dalam kesenjangan ignition delay period adalah besarnya partikel dan temperature dalam ruang bakar. Ignition delay merupakan waktu yang diperlukan antara bahan bakar mulai disemprotkan dengan saat mulai terjadinya pembakaran.

2. Periode 2: Pembakaran tidak terkontrol atau Perambatan Api (*Uncontrolled Combustion*)

Pada tahap ini campuran bahan bakar dan udara tersebut akan terbakar di beberapa tempat. Nyala api akan merambat dengan kecepatan tinggi dan terjadi di titik yang tidak menentu akibat aliran udara di dalam ruang bakar yang turbulen sehingga seolah-olah campuran terbakar sekaligus, sehingga menyebabkan tekanan dalam silinder naik secara drastis.

3. Periode 3: Pembakaran Terkontrol (*Controlled Combustion*)

Periode ini adalah dimana piston mencapai suhu dan tekanan tertinggi dimana ledakan dari bahan bakar yang keluar dari injektor terjadi secara beruntun dan membuat piston terdorong ke TMB dan menghasilkan tekanan.

4. Periode 4: Setelah Pembakaran (*Afterburning*)

Periode *Afterburning* ini adalah periode masa injeksi bahan bakar berakhir dan terjadi ekspansi volume gas pembakaran yang membuat piston berlanjut menuju TMB. (Sungkono Kawano, D. 2011)

### 2.3.1 Faktor yang Mempengaruhi Pembakaran II.3.1.1 Tekanan Injeksi

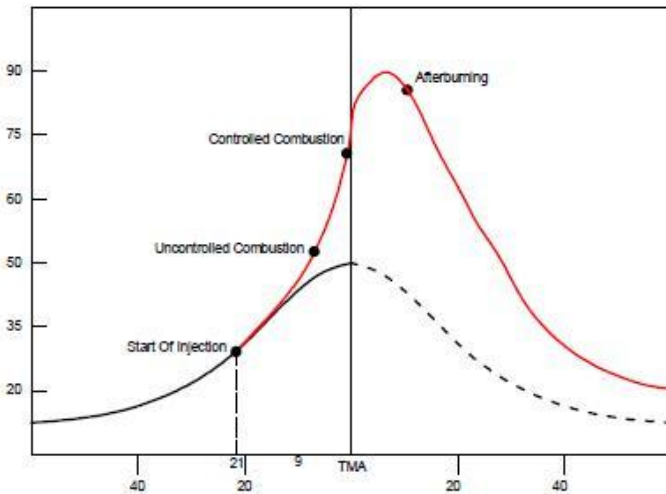
Pada Motor Diesel atau CI engine (*Compression Ignition Engine*) untuk menacapai pembakaran sempurna hanya tersedia waktu atau jeda yang pendek, bahan bakar berupa cairan harus dikabutkan menjadi partikel – partikel yang lebih kecil untuk mendapatkan perbandingan volume yang terbesar, namun faktor utama dalam pembakaran tergantung pada laju pembuangan produk pembakaran di permukaan oleh udara (oksigen) terhadap udara luar. Partikel solar yang lebih kecil mempunyai luas permukaan yang lebih kecil pula. Maka pada saat tekanan di dalam silinder atau ruang bakar naik pada akhir menjelang kompresi, panas akibat kompresi akan mempengaruhi partikel kecil dari solar itu untuk menerima panas lebih cepat dan terbakar dengan cepat pula maka jeda pembakaran atau *ignition delay* akan lebih pendek. Berkebalikan maka kerugina dari partikel yang lebih besar akibat dari tekanan injeksi yang rendah, jeda pembakaran akan menjadi lebih panjang dan pembakaran cenderung untuk berhenti. (Sungkono Kawano ,D.2011)

#### 2.3.1.2 Sudut Awal Injeksi

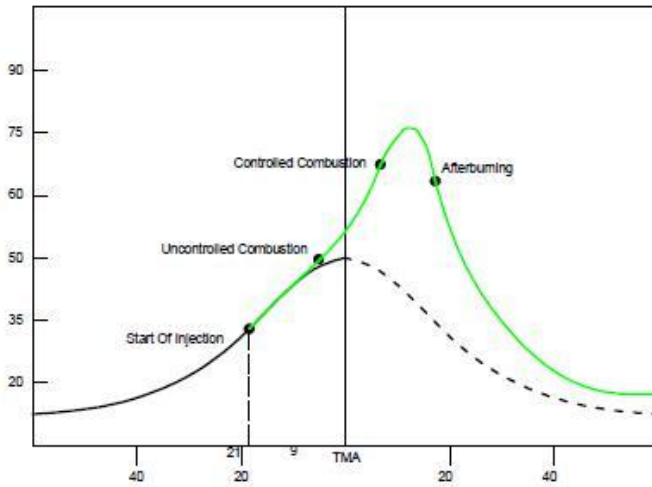
Perubahan sudut injeksi berpengaruh terhadap proses pembakaran. Pembakaran yang maju (*Advanced Combustion*) akan membuat tekanan naik dan pembakaran yang mundur (*Retarded Combustion*) akan membuat tekanan turun dan daya yang dihasilkan menurun Sebagai perbandingan pada pembakaran motor diesel pada injeksi  $15^0$ ,  $18,5^0$  dan  $21^0$ , dengan

jumlah bahan bakar per langkah sama. Dengan merubah sudut injeksi ke titik 21 derajat sebelum TMA, waktu ignition delay meningkat, untuk tahap physical delay tetap namun saat chemical delay menjadi lebih panjang dikarenakan temperatur yang turun saat injeksi bahan bakar dilakukan, namun setelah itu titik start of combustion mengalami proses yang cepat dan fluktuatif karena panas solar injeksi merata sehingga butuh waktu tidak lama untuk mencapai titik controlled combustion dengan tekanan yang lebih tinggi karena panas solar yang meningkat dan menghasilkan daya yang lebih pada motor diesel. Pada retarded combustion, sudut injeksi 15 derajat sebelum TMA tahap ignition delay relatif diperpanjang dikarenakan proses physical delay yang tetap namun chemical delay dipersingkat karena temperatur ruang bakar ketika bahan bakar diinjeksikan mengalami kenaikan dan membuat proses pembakaran mencapai titik start of combustion namun dengan titik panas bahan bakar yang tidak merata. Pada retarded combustion ini tekanan yang dihasilkan turun karena bahan bakar diinjeksikan saat afterburning. Untuk perbandingan tekanan silinder tergantung perubahan sudut injeksi dijelaskan pada gambar II.2. Sudut injeksi awal maksimum tergantung pada banyak hal, namun biasanya adalah sekitar  $20^{\circ}$  sebelum titik mati atas (TMA) dan akan menghasilkan tekanan puncak terbaik pada  $5^{\circ} - 8^{\circ}$  setelah titik mati atas (TMA). Durasi injeksi atau sistem delivery injeksi (jumlah bahan bakar yang diinjeksikan terhadap perubahan sudut crank) juga mempengaruhi proses pembakaran. Saat durasi injeksi diperpendek dengan jumlah bahan bakar yang sama, *ignition delay* akan tetap namun tekanan

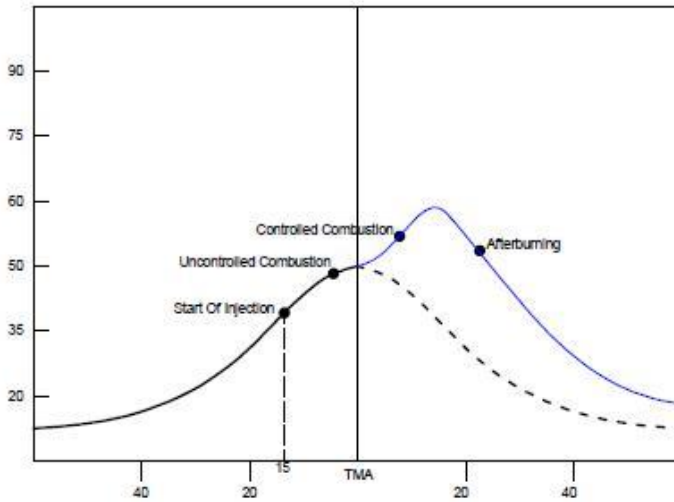
silinder akan naik karena lebih banyak bahan bakar disuplai kedalam silinder saat pengapian terjadi.



**Gambar 2.2** Sudut 20 Injeksi



**Gambar 2.3** Sudut 20 Injeksi



**Gambar 2.4** Sudut 15 Injeksi



## 2.4 Siklus Diesel

Perubahan volume dan pengaruhnya terhadap tekanan adalah prinsip dasar dari perhitungan teoritis. Volume kritis pada mesin diesel adalah volume saat pembakaran itu terjadi atau disebut juga dengan Volume Kompresi. Seperti yang dijelaskan oleh Heywood, (1988). Motor diesel mempunyai perbandingan antara Volume kompresi dan Volume Total pada ruang bakar yang tinggi. Perbandingan tersebut adalah rasio kompresi. Untuk mencari Rasio Kompresi adalah : \_\_\_\_\_

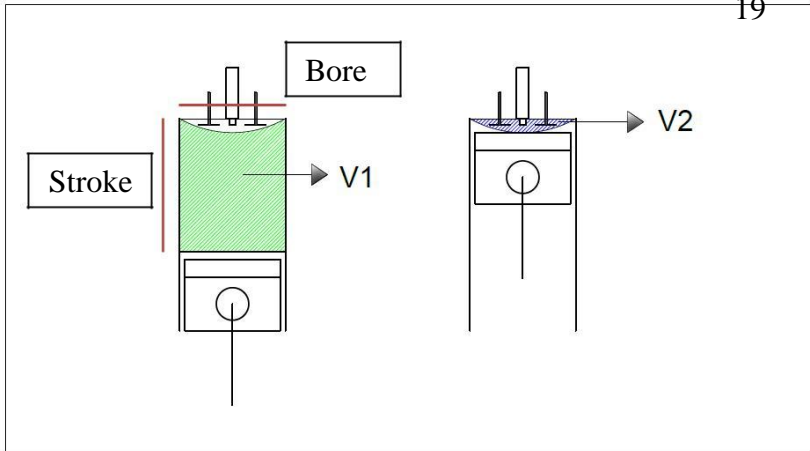
Dimana :

$R_c$  : Rasio Kompresi

$V_{disp}$  : Volume udara yang dipindahkan oleh piston

$V_{kompresi}$  : Volume saat piston berada di posisi TMA (Titik Mati Bawah)

Namun untuk mencari nilai – nilai dari variable rasio kompresi, dimensi dari ruang bakar diesel juga sangat berpengaruh, dimensi tersebut adalah :



**Gambar 2.5** Volume Total dan Volume Kompresi pada diesel

Untuk pencarian  $V_{disp}$  (Volume Displacement) nilai yang dibutuhkan adalah Bore dan Stroke dari ruang bakar :

= 4

2

## 2.5 Hukum Termodinamika I Pada motor Diesel

Permasalahan panas dan energy internal yang bekerja pada sebuah sistem sebagai bentuk energy membuat pengembangan teori hukum kekekalan energy untuk menemukan teori pendekatan perubahan panas menjadi energy kinetic di dalam sebuah sistem. Namun, bukti bukti yang sudah ada melalui berbagai macam percobaan dan empiris yang dilakukan sampai sekarang menjelaskan bahwa semua proses tersebut merupakan salah satu hukum alam. Hukum termodinamika berbunyi :

*“Walaupun energy ada dalam berbagai bentuk, jumlah total energy adalah konstan, maka ketika satu energy itu hilang, eergi tersebut berubah bentuk.”*

Pada aplikasi hokum pertama, suatu parameter yang mempengaruhi proses dibagi dalam dua kondisi, yaitu ;*system and surroundings*. Batasan untuk sistem tergantung ukuran dari bentuk sistem tersebut.Namun sekelilingnya atau surroundings bisa imajiner, kaku, atau fleksibel.

Hukum paling dasar dalam kekekalan energy, membutuhkan :

$\Delta$

Dimena delta  $\Delta$  <sup>+      $\Delta=0$</sup> amenjelaskan perubahan batasan yang terjadi dalam suatu sistem tersebut, juga batasan yang terjadi dalam sekelilingnya.Sistem dapat berubah menjadi energy kinetic, energy potensial, etc. Sistem tertutup atau adiabatic mengalami proses yang didalamnya tidak terdapat perubahan sistem namun hanya internal energy :

$$\Delta = \quad +$$

Dimana U adalah total dari energy internal dalam sebuah sistem.(Van Ness, H.C, dkk 2001)

### II.5.1 *Heat Capacity* dalam Tekanan Konstan

Motor diesel bekerja pada penambahan panas selama revolusi sudut crank dan perubahan volume namun dalam tekanan konstan. Perubahan panas menjadi bentuk energy dalam diesel mengalami proses tekanan konstan, untuk penjabarannya : \_\_\_\_

Dalam pengertiannya mengandung perubahan molar dan tergantung, kapasitas kalor spesifik., yang tergantung juga dari nilai H yang bisa nilai molar atau enthalpy spesifik. Fungsi pelepasan kalor ini dijabarkan dalam :

(Van Ness, H.C, dkk 2001)

$$\begin{aligned}
 &= \\
 &= \\
 &Q = \\
 &= \\
 &= \Delta =
 \end{aligned}$$

*Halaman Ini Sengaja Dikosongkan*

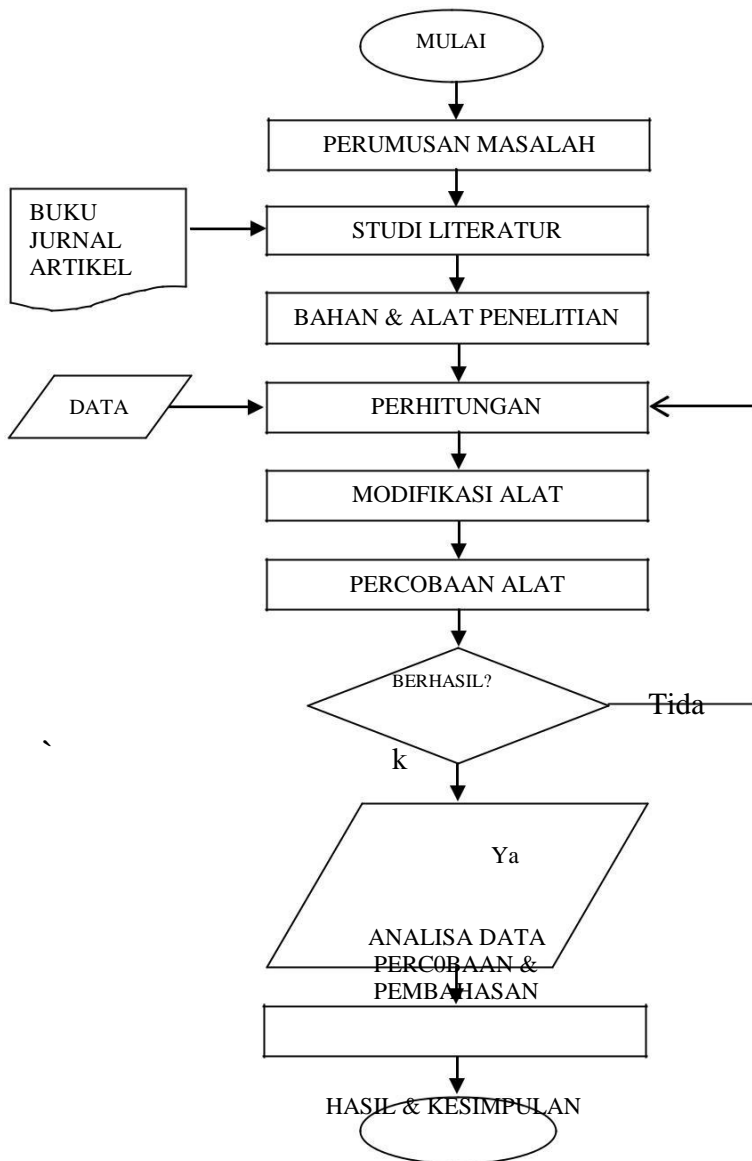
## **BAB III**

### **METODOLOGI**

Penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan timing dan volume injeksi yang sesuai untuk desain mesin DDF (Diesel Dual Fuel). Metode penelitian memberikan alur dan metode dalam pengerjaan alat dan analisa permasalahan yang mungkin terjadi selama proses penelitian. Penelitian dilakukan dengan melalui tahap – tahap mencari literatur mesin berbahan bakar ganda, perhitungan pengaruh dan modifikasi yang akan dilakukan, memodifikasi dan melakukan percobaan terhadap perubahan yang terjadi, hingga akhirnya melakukan kesimpulan dan mencari solusi – solusi dan permasalahan yang mungkin muncul selama penelitian berlangsung. Bagan – bagan metode akan dijelaskan secara gamblang berikut :

#### **3.1. Perumusan Masalah**

Tahap awal yang dilakukan adalah peneliti merangkum semua masalah yang akan timbul selama pengerjaan. Pada penelitian dan modifikasi motor diesel untuk diesel dual fuel ini, masalah yang ada adalah pengaturan timing injeksi bahan bakar yang tepat dan pengaturan debit solar per injeksi. Masalah akan kemudian dikonsultasikan ke dosen pembimbing untuk dicari solusi dan permasalahannya. Solusi untuk merubah injeksi adalah modifikasi *fuel injection pump*, timing gear. Namun dalam penelitian ini, penulis mengesampingkan solusi timing gear karena dinilai terlalu kompleks dan rumit dan efeknya terhadap motor diesel terlalu besar.



S  
E  
L  
E  
S  
A  
I



### 3.2. Studi Literatur

Tahap selanjutnya yang dilakukan adalah pencarian referensi dan artikel untuk membantu penulis dalam mendesain alat yang akan di buat. Referensi yang diperlukan mengenai analisis teknis diesel yang dimodifikasi menjadi *diesel dual fuel*, pengaruh timing injeksi bahan bakar dan perubahan debit akan merubah tekanan maksimum pada mesin dan berpengaruh terhadap performa mesin. Faktor – factor lain yang akan berpengaruh terhadap perubahan yang dilakukan adalah kandungan udara dalam silinder selama masa pembakaran, karena dalam silinder atau volume udara tetap, terjadi penambahan bahan bakar yang berpengaruh ke reaksi oksidasi bahan bakar.

### 3.3. Bahan dan Alat Penelitian

Mesin yang akan di pakai sebagai media modifikasi adalah Diesel Yanmar TF85MH-di tipe *direct injection* yang memiliki spesifikasi teknis sebagai berikut:

**Tabel 3.1** Spesifikasi Mesin Diesel Yanmar TF85 MH

Engine (four stroke cycle)	TF85 MH-di
Number of cylinders	1
Combustion system	Direct injection
Bore	85 mm
Stroke	87 mm
Displacement	493 cc
Compression Ratio	18

Max. Engine speed at full load	2200 RPM
Continous Power Output	7.5 kW
Specific Fuel Consumption	171 gr/HP h
Injection Timing	18°BTDC

Fokus dan alat yang akan dimodifikasi dari motor diesel adalah *fuel injection pump*. Fuel injection pump adalah komponen mesin yang berfungsi untuk menyuplai bahan bakar ke dalam ruang bakar melalui injector atau nozzle. Fuel injection pump memberi tekanan pada injector sehingga bahan bakar diinjeksikan pada sudut 18 derajat sebelum TMA dan proses penginjeksian berhenti pada sudut 45° setelah TMA.

Alat yang akan digunakan selama proses modifikasi dan pengukuran injeksi dan menganalisa titik fuel pump cam selama masa injeksi adalah :

1. Fuel Injection Pump

Fuel injection pump pada motor diesel akan memberikan tekanan pada bahan bakar yang disedot dari tangki bahan bakar kemudian dikirim ke dalam ruang bakar melalui injector atau nozzle.



**Gambar 3.1** Fuel Injection Pump

## 2. Kunci Torsi

Kunci torsi berfungsi untuk mengencangkan baut pada torsi yang diinginkan, korelasi dalam penelitian ini adalah pengencangan torsi pada baut fuel injection pump akan merubah sudut injeksi ruang bakar.



**Gambar 3.2** Kunci torque

## 3. Gelas Ukur

Gelas ukur digunakan untuk mengukur volume keluaran fuel injection pump per injeksi.



**Gambar 3.3** Gelas Ukur

#### 4. Busur Derajat

Busur derajat berfungsi untuk mengukur derajat pada mesin untuk mengetahui kapan waktu saat saat injeksi bahan bakar, bukaan katup intake dan bukaan katup exhaust selama proses berlangsung.

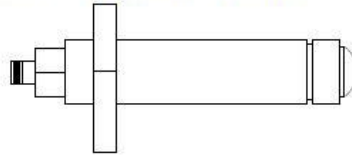


**Gambar 3.4** Busur Derajat

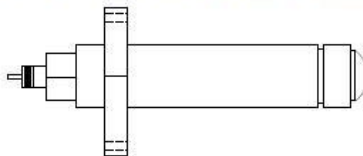
#### 5. Fuel Pump Cam Lift Measurer

Alat ini berfungsi untuk mengukur titik tonjolan pada cam saat penginjeksian berlangsung

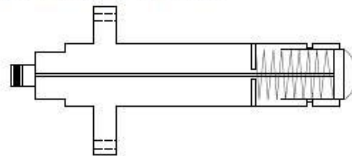
Pada Saat Kondisi Diam



Pada Saat Kondisi Menekan



Mekanisme Dalam



**Gambar 3.5** Fuel Cam Lift Measurer

#### 6. Packing Fuel Injection Pump

Packing fuel injection pump berfungsi untuk mengurangi massa injeksi bahan bakar yang akan dijelaskan lebih lanjut pada bab selanjutnya.



**Gambar 3.6** Packing Fuel Injection Pump

### **3.4. Perhitungan**

Dalam modifikasi motor diesel menjadi desel dual engine, perhitungan modifikasi dilakukan dengan cara empiris dan teori untuk menganalisa perubahan tekanan pada silinder, adapun variable yang dihitung adalah :

1. Sudut injeksi
2. Volume bahan bakar per injeksi
3. Tekanan pembakaran

### **3.5. Modifikasi Alat**

Untuk tahap ini di buat desain awal sesuai dengan literatur yang ada dan di lakukan modifikasi sesuai dengan percobaan yang akan di lakukan. Beberapa desain awal yang harus di modifikasi adalah modifikasi fuel injection pump untuk mengurangi volume dan merubah sudut injeksi bahan bakar pada motor diesel. modifikasi akan dilakukan dan dilakukan perbandingan pada mesin kondisi standar. Untuk modifikasi penambahan packing pada fuel injection pump akan dilakukan variable ; 4mm, 4.5mm, 5mm, 6mm. Variasi

packing dibatasi sesuai jumlah diatas dikarenakan target tidak terpenuhi pada variasi yang lain. Perubahan packing juga disinkronkan dengan jumlah CNG yang dimasukkan dan dilihat perbedaannya pada kondisi mesin standar. Untuk perubahan sudut dilakukan perubahan pengencangan torsi pada fuel injection pump bolt.

### **3.6. Percobaan Alat**

Uji Eksperimen perubahan volume bahan bakar yang diinjeksikan dilakukan dengan cara melepas high pressure pipe yang tersambung ke injector dan memasukkan jumlah solar ke dalam gelas ukur, uji dilakukan terhadap perubahan packing dan mesin diengkol sebanyak 50 kali untuk melihat perubahan volume bahan bakar yang masuk terhadap variasi packing yang dilakukan. Kemudian sudut injeksi dilihat pada flywheel dan disesuaikan terhadap kebutuhan pembakaran.

### **3.7. Analisa Data Percobaan dan Pembahasan**

Hasil yang didapat diolah dan lihat perbandingan dari sisi daya yang dihasilkan dan lain lain, perbandingan data adalah mesin kondisi standar, terhadap perubahan rasio bahan bakar yang diinjeksikan dan sudutnya.

### **III.8. Kesimpulan dan Saran**

Data yang didapat setelah uji eksperimen dan modifikasi akan dicari permasalahan dan pencarian solusi. Dari masalah yang ditemui dan dicari variasi dan hasil yang sesuai dengan kebutuhan diesel dual fuel.

*Halaman Ini Sengaja Dikosongkan*



## **BAB 4**

### **ANALISA DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1.Data Mesin**

##### **4.1.1 Spesifikasi Mesin**

Penelitian dalam pembuatan diesel dual fuel dilakukan untuk mesin Diesel Yanmar TF85 MH-di naturally aspirated dan Hopper Water Cooling System. Untuk analisa dalam tugas akhir ini kita harus membandingkan spesifikasi mesin diesel yang akan di pakai, dengan modifikasi terhadap sudut dan perubahan volume yang akan dipakai. Adapun spesifikasi mesin awal atau standar adalah sebagai berikut :

**Tabel 4.1** Spesifikasi Yanmar TF85-MHdi

Engine (four stroke cycle)	TF85 MH-di
Number of cylinders	1
Combustion system	Direct injection
Bore	85 mm
Stroke	87 mm
Displacement	493 cc
Compression Ratio	18
Max. Engine speed at full load	2200 RPM
Continous Power Output	7.5 kW
Specific Fuel Consumption	171 gr/HP h
Fuel Injection Timing	18 BTDC

Dari data awal mesin yang akan di pakai, variable yang akan dihitung mula – mula sebelum dimodifikasi adalah volume bahan bakar per injeksi dan sudut injeksi bahan bakar, datanya adalah sebagai berikut :

Volume Solar per injeksi	0.07ml
Sudut Injeksi Solar	18 BTDC

**Tabel 4.2** Spesifikasi injeksi solar motor diesel

Untuk spesifikasi Bahan Bakar Solar yang akan digunakan :

**Tabel 4.3** Spesifikasi bahan bakar Solar

Nama Bahan Bakar	Solar (Diesel Oil)
Rumus Kimia	$C_{12}H_{26}$
$\Delta H$ formation	3507000 joule / mole
Density	0.832 kg / liter
Flash Point	$83^{\circ}C$
Molar Mass	170



**Gambar 4.1** Diesel Yanmar TF 85 MH-di

Untuk perubahan volume injeksi solar dan sudut pada diesel, variasi yang dilakukan adalah terhadap fuel injection pump, dalam penelitian ini, komponen mesin awal tidak diubah karena dapat berpengaruh pada kinerja motor diesel keseluruhan, namun penambahan part pada motor diesel berupa packing diaplikasikan pada diesel.

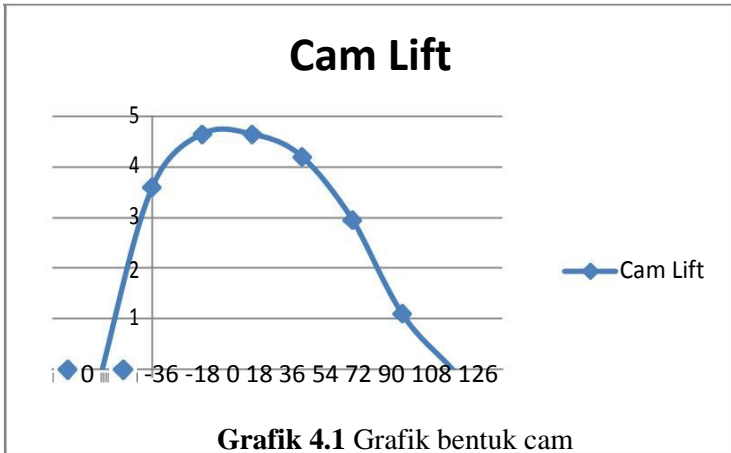
Diesel bekerja pada 2200 RPM maksimal, maka injeksi bahan bakar yang dilakukan adalah 1100 injeksi per menit pada saat kecepatan mesin 2200 RPM. Maka, perbandingan rasio gear Crankshaft dan Camshaft adalah 2 : 1, jadi tiap crankshaft berputar dua kali, camshaft berputar sekali dan menginjeksikan bahan bakar tiap 2 kali putaran poros crank.

Pengaturan injeksi dilakukan oleh fuel pump cam yang terletak satu poros dengan camshaft. Pada sudut 18 derajat BTDC. Setelah melakukan pengukuran awal dengan menggunakan *Fuel Pump Cam Lift Measurement*, titik tonjolan cam pada saat waktu injeksi 18 derajat sebelum titik mati atas (TMA), didapat data sebagai berikut :

**Tabel 4.4** Cam lift

Angle	Cam Lift
-18	0
0	3.6
18	4.65
36	4.65
54	4.2
72	2.95
90	1.1
108	0

Dengan data pada hasil pengukuran menggunakan cam lift measurer pada sudut crank diatas, maka penulis dapat mengasumsikan dengan grafik bentuk permukaan fuel pump cam sesuai dengan titik tonjolan cam pada sudut tertentu :



Untuk perubahan sudut dengan metode pengencangan torsi adalah perubahan nilai tirkue untuk mengencangkan baut governor atau *fuel injection pump bolt*. Data torsi standar untuk mesin diesel yanmar TF 85 MH-di adalah :

Name of Parts	TF 85 MH-di
Balance Weight Bolt	4.50 – 5.50
Fuel Cam Tightening Nut	9.00 – 11.00
Fuel Pump Clamping Nut	2.30 – 2.90
Fuel Injection Valve Retaining Nut	2.00
High Pressure Cap Nut	2.60 – 3.00
Connecting Rod Bolt	2.20 – 2.40
Cylinder Head clamp bolt and nut	9.50 – 10.50

Main Bearing Housing Clamping Nut	2.30– 2.90
Flywheel and Nut	17.00– 20.00
Fuel Injection Pump Delivery Valve Holder	4.00 -4.50

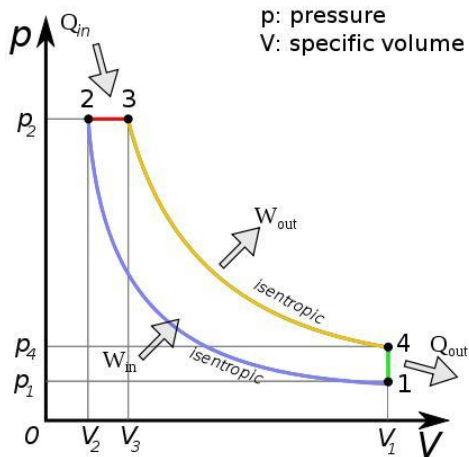
**Tabel 4.5** Torsi pengencangan baut pada mesin

#### **4.1.2 Tekanan Pada Silinder**

Tekanan pada silinder motor diesel berbading terbalik terbalik dengan volume terhdap pergerakan piston atau sudut crank. Untuk perhitungan praktek volume dan tekanan silinder mesin aplikasinya terlalu kompleks dan rumit. Maka pendekatan teori dilakukan terhadap perhitungan tekanan dan volume ruang bakar.

Perhitungan awal dilakukan dengan menghitung siklus diesel P-V tekanan terhadap volume untuk mencari Volume, Tekanan, dan Suhu pada Titik Tertentu. Kemudian dilanjutkan dengan menghitung volume per ruang bakar terhadap sudut crank dan perhitungan panas masuk pada sudut 18 derajat sebelum TMA.

#### **4.1.3 Siklus Diesel Mesin**



**Grafik 4.2** P-V diagram siklus Diesel

Siklus diesel membagi titik pada proses di dalam silinder motor diesel menjadi :

- Proses 1-2 : Isentropic Compression
- Proses 2-3 : Isobaric Heat Addition
- Proses 3-4 : Isentropic Expansion
- Proses 4-1 : Isochoric Heat Rejection

Kondisi udara sekeliling diasumsikan :

$$T_1 = 305 \text{ K}$$

$$P_1 = 0.1 \text{ Mpa}$$

Perhitungan Tekanan Kompresi :

$$\frac{p_2}{p_1} = \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma} = \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^{1.4}$$

$$\frac{p_2}{0.1} = \left( \frac{0.001}{0.0001} \right)^{1.4}$$

$$p_2 = 0.1 \times 10^{1.4} = 0.1 \times 25.1189 = 2.51189 \text{ Mpa}$$

Mencari tekanan kompresi dengan persamaan gas ideal

:

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

$$= \frac{1}{2} \cdot \frac{2}{1}$$

$$= \frac{2}{1}$$

$$969.19 \text{ kPa} = 18.305 \cdot 0.1$$

Karena nilai  $P_3 = P_2$ , persamaan keadaan gas ideal menjadi lebih sederhana sehingga memberikan untuk nilai  $T_3$  :

$$T_3 = T_2 \cdot \frac{P_3}{P_2} = T_2$$

$$T_3 = 2.592 \cdot 969.19 \text{ K} = 2512.1408$$

Dimana  $\text{Roff} = V_3 / V_2$ , atau “cut off ratio”. Karena  $V_4 = V_1$ , maka rasio volume pada proses isentropic 3-4 dapat dinyatakan :

$$\frac{V_4}{V_3} = \frac{V_4}{V_2} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{1}{2}$$

Temperature dari nilai  $T_4$  :

-1

$$= \frac{2.59}{14-1} 2512.1408$$

$$K T_{\text{Akhir}} = 1156.1408$$

Dari Perhitungan P-v diagram diesel, akan didapatkan nilai nilai pada tiap titik yaitu :

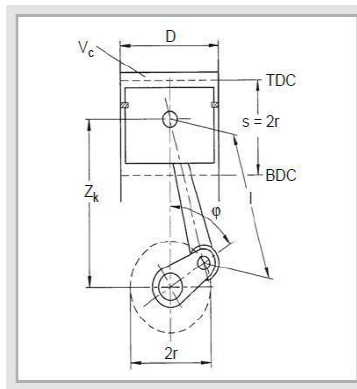
$$P_{\text{kompresi}} = 57.3 \text{ bar}$$

$$T_{\text{kompresi}} = 969.19 \text{ K}$$

$$T_{\text{Pembakaran}} = 2512.1408$$

$$K T_{\text{Akhir}} = 1156.1408$$

Untuk mengetahui volume pada ruang bakar pada tiap sudut derajat crankshaft maka dilakukan pendekatan dengan mengacu pada :



**Gambar 4.2** Dimensi Piston



dimana nilai (D) adalah Bore, (s) adalah stroke,nilai (Vc) adalah volume clearence dari ruang bakar. VZ adalah volume yang berubah tiap waktuterhadap perubahan sudut crank :

$$V_z = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot s \cdot \left( 1 - \cos \left( \frac{\pi}{2} \cdot \frac{\theta}{\theta_{max}} \right) \right)$$

Setelah memasukan data awal dibawah ini, maka akan didapatkan nilai volume per sudut crank dan tekanannya :

Vc = 0.000029 m3

T1 = 305 K

p= 3.14285714

P1 = 0.101325 Mpa

bore = 0.085 m

r = 0.0435 m

l = 0.131 m

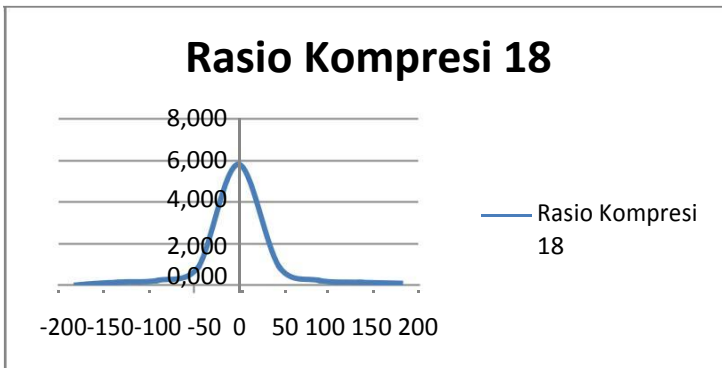
lpl = 0.33206107

Tabel 4.6 Tekanan silider terhadap sudut crank

(j)	f (j)	Zk	Vz (m3)	T (Kelvin)	P (MPa)
180	1.99999933	0.087	0.00052243	305	0.101
165	1.97173813	0.085771	0.00051546	306.64361	0.103
150	1.8872299	0.082095	0.00049461	311.7501	0.109
135	1.74920596	0.07609	0.00046056	320.77336	0.121
120	1.56293069	0.067987	0.00041460	334.54918	0.140
105	1.3369551	0.058158	0.00035885	354.44379	0.171
90	1.08364748	0.047139	0.00029635	382.63778	0.224

75	0.81916606	0.035634	0.00023110	422.65953	0.317
60	0.56265682	0.024476	0.00016782	480.3722	0.497
45	0.33465066	0.014557	0.00011156	565.59105	0.880
30	0.15484896	0.006736	0.00006720	692.71453	1.789
18	0.05691599	0.002476	0.00004304	827.85492	3.338
0	0	0	0.00002900	969.50998	5.802

Grafik tekanan dalam ruang silinder tanpa adanya proses pembakaran atau panas yang ditambahkan dari injeksi bahan bakar adalah sebagai berikut :



Grafik 4.3 Tekanan Kompresi

## 4.2 Modifikasi Mesin Diesel

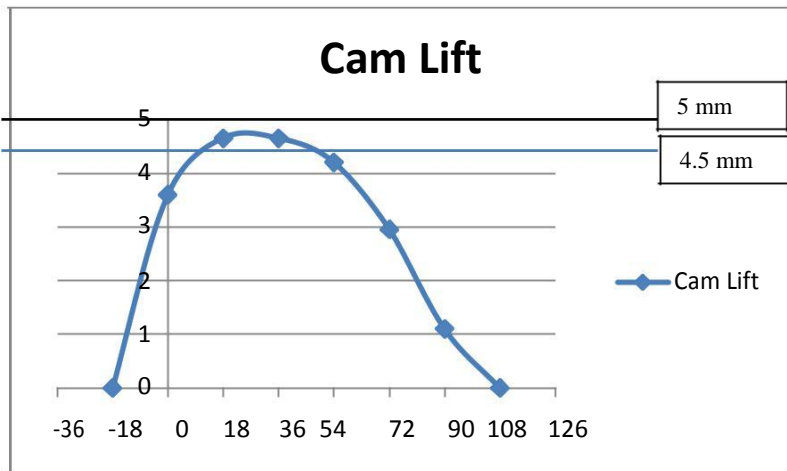
### 4.2.1 Modifikasi Packing Fuel Injection Pump

Untuk modifikasi yang dilakukan pada motor diesel adalah berupa penambahan packing dan perubahan pengencangan torsi pada fuel injection pump bolt. Uji penambahan packing yang dilakukan pada fuel injection pump adalah 4.5 mm, 5 mm, 5.5 mm.

**Tabel 4.7** Perubahan volume dan sudut injeksi terhadap tebal packing

Tebal Packing	50x putaran Engkol	Volume per Injeksi	Perubahan Sudut Injeksi
4.5 mm	2.8 ml	0.056 ml	16 ATDC
5 mm	2.4 ml	0.048 ml	18 ATDC
5.5 mm	1.4 ml	0.028 ml	18 ATDC

Untuk perubahan sudut injeksi dapat dilihat pada diagram cam lift :



**Grafik 4.4** Tekanan Kompresi

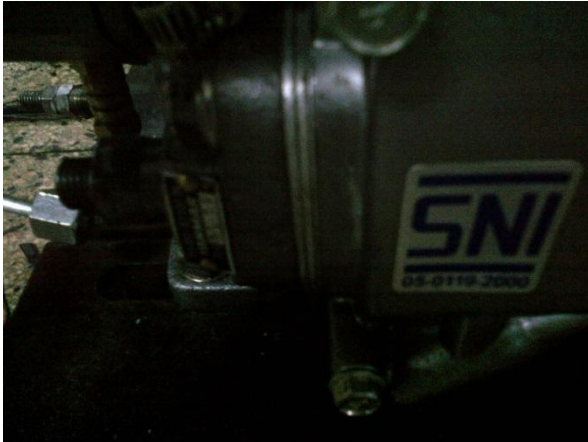
Modifikasi penambahan packing pada fuel injection pump pada prinsipnya adalah menambah jarak antara fuel pump dengan cam fuel pump. Dengan begitu akan ada keterbatasan penambahan jumlah packing dengan kondisi tersebut. Pada percobaan yang dilakukan untuk mengurangi debit bahan bakar, tebal packing yang mampu mengurangi debit adalah tebal 4.5mm ; 5 mm dan 5.5 mm. Namun

dengan penambahan tersebut maka akan mengganti sudut injeksi pula sampai 16 derajat setelah titik mati atas, dan 18 derajat setelah titik mati atas. Dengan sudut tersebut maka tidak akan terjadi pengapian dan motor diesel tidak menyala.

Maka, penambahan tebal packing untuk untuk mengurangi debit atau volume bahan bakar per injeksi tidak dapat dilakukan. Gambar hasil modifikasi akan dijelaskan pada gambar di bawah.

Percobaan Packing 4.5 mm :





**Gambar 4.3** Jumlah injeksi Solar setelah penambahan packing 4.5mm

Percobaan packing 5 mm :





**Gambar 4.4** Jumlah injeksi Solar setelah penambahan packing 5mm

Percobaan Packing 5.5 mm :





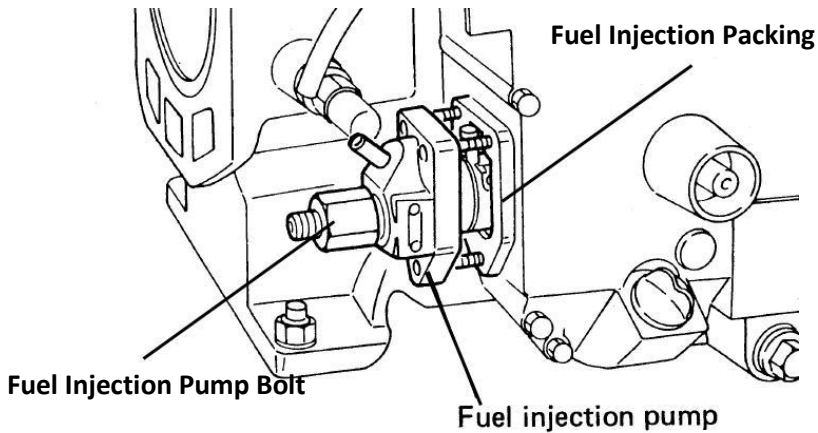
**Gambar 4.5** Jumlah injeksi Solar setelah penambahan packing 5.5mm

## **4.2.2 Modifikasi Perubahan Sudut pada Motor Diesel**

Modifikasi perubahan sudut dapat dilakukan dengan dua cara yaitu dengan memberikan atau mengurangi torsi pada fuel injection pump bolt, dan menambah atau mengurangi packing pada fuel injection pump.

### **4.2.2.1 Modifikasi Torsi Pada Fuel Injection Pump Bolt**

Perubahan sudut selain dapat dilakukan dengan penambahan packing, juga dapat dilakukan dengan pengencangan torsi pada *fuel injection pump bolt*.



Gambar 4.6 Fuel Injection Pump

Torque	Perubahan Sudut
2	15 <sup>0</sup> BTDC
2.5	(sudut tetap) 18 BTDC
3	21 <sup>0</sup> BTDC
3.5	24 <sup>0</sup> BTDC

**Tabel 4.8**Perubahan torsi dan sudut injeksi

Torsi standar dari spesifikasi mesin yang diberikan adalah 2.3 ~ 2.9 kgm. Untuk percobaan ini, dilakukan variasi range yaitu perubahan torsi antara 2 ~ 3.5 kgm. Pada perubahan torsi 2 kgm, spring yang ada pada fuel injection pump mengalami keregangan sehingga injeksi pembakaran akan mengalami retarded combustion karena penginjeksian mundur mendekati TMA, sesuai pada dasar teori yang dijabarkan bahwa perubahan sudut yang mendekati TMA akan mengalami penurunan tekanan karena bahan bakar yang diinjeksikan akan melewati masa afterburning.



Pada Perubahan torsi 3 ~ 3.5 kgm, spring pada fuel injection pump akan lebih kencang sehingga spring pada fuel injection pump akan semakin kencang dan mesin akan mengalami *advanced combustion* dikarenakan sudut injeksi yang maju menjauhi TMA (Titik Mati Atas), pada *advanced combustion* ini titik ignition delay akan mengalami kenaikan karena dengan physical delay tetap, chemical delay akan mengalami kenaikan karena temperature pada saat injeksi terlalu rendah. Namun berefek pada tekanan pembakaran yang meningkat dan menghasilkan daya yang lebih tinggi.

Untuk perubahan torsi diatas 3.5 kgm, spring pada fuel injection pump akan menjadi lebih rapat, sehingga tekanan yang diberikan fuel pump cam tidak dapat membuat fuel injection pump untuk mengirim bahan bakar menuju injector.

#### **4.2.2.1 Modifikasi Packing Fuel Injection Pump**

Untuk modifikasi packing fuel injection pump, akan dilakukan perubahan untuk menguji efek dari *advanced combustion* dan *retarded combustion* bahan bakar solar dan penambahan bahan bakar 10% CNG terhadap performa mesin dengan pengujian beban lampu. Metode Pengujian beban lampu dilakukan dengan mengkopel generator dengan motor diesel dan dari generator diberi variasi beban 1000 watt, 2000 watt, 3000 watt, 4000 watt dan 5000 watt. Untuk parameter nya dilakukan dengan voltase tetap maka arus akan bertambah sesuai dengan beban yang diberikan. Variasi perubahan sudut adalah melepas packing dari fuel injection pump setebal 0.5 mm dan menghasilkan sudut 20 derajat sebelum Titik mati atas (*advanced combustion*), pada sudut injeksi standar mesin 18 derajat sebelum titik Mati atas, dan penambahan packing 2mm dan merubah sudut sebesar 10 derajat sebelum titik mati atas (*retarded combustion*) dan tekanan pada saat pembakaran akan mengalami penurunan.

Pengujian alat dilakukan 2 kali untuk tiap sudut, yaitu pertama dengan menggunakan bahan bakar solar dan penggunaan bahan bakar solar ditambah dengan bahan bakar CNG 10%.

**a. Hasil percobaan untuk perubahan sudut 20 derajat sebelum TMA :**

**Tabel 4.9** Hasil Percobaan Sudut injeksi 20<sup>0</sup> sebelum TMA (solar)

Solar (Sudut injeksi 20 <sup>0</sup> sebelum TMA)				
Beban (watt)	RPM	Voltase	Arus	Daya (Watt)
1000	1488	150	2.9	435
2000	1471.9	150	6.2	930
3000	1490.4	150	9.4	1410
4000	1533	150	12.7	1905
5000	1562	150	16	2400

Dengan perubahan sudut injeksi 20 derajat sebelum TMA, tekanan pembakaran akan meningkat karena adanya peak pressure yang tinggi.



**Ignition Delay Process**

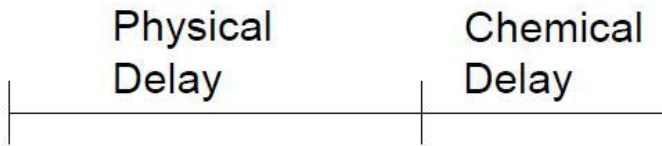
**Gambar 4.7** Ignition Delay Process Sudut injeksi 20<sup>0</sup> sebelum TMA (solar)

Dengan waktu physical delay yang sama, chemical delay akan menjadi lebih panjang pada karena temperatur silinder saat injeksi lebih rendah. Namun titik start of combustion akan menjadi lebih pendek sehingga berpengaruh pada controlled combustion atau saat terjadi ledakan dipercepat dan memperpendek proses afterburning. Sehingga menghasilkan peak pressure setelah TMA yang tinggi.

**Tabel 4.10** Hasil Percobaan Sudut injeksi  
20<sup>0</sup> sebelum TMA(solar + CNG)

Solar + CNG 10% (Sudut injeksi 20 <sup>0</sup> sebelum TMA)				
Beban	RPM	Voltase	Arus	Daya
1000	1488	150	3	450
2000	1472.9	150	6.2	930
3000	1494.1	150	9.4	1410
4000	1515.7	150	12.7	1905
5000	1566	150	16	2400

Pada bahan bakar solar, advanced combustion akan memperpanjang waktu chemical delay, namun pada campuran solar dan 10% CNG akan memberikan chemical delay yang lebih pendek.



## Ignition Delay Process

**Gambar 4.8** Ignition Delay Process Sudut injeksi  $20^0$  sebelum TMA (solar + CNG)

Tambahan bahan bakar CNG membuat waktu chemical delay menjadi lebih pendek. Dengan panas yang diterima saat proses penguapan oleh solar, maka CNG akan tersulut dan membantu memberikan panas dan memperpendek chemical delay sehingga start of combustion akan dimulai lebih cepat. Akibatnya, tekanan tinggi akan terjadi sebelum piston mencapai titik mati atas dan terjadi knocking.

### **b. Hasil Percobaan untuk sudut 18 derajat sebelum TMA :**

Solar (Sudut injeksi  $18^0$  sebelum TMA)

Beban	RPM	Voltase	Arus	Daya
1000	1492.6	150	2.9	435
2000	1480.1	150	6.2	930
3000	1497.5	150	9.4	1410
4000	1526.6	150	12.7	1905
5000	1583.2	150	16	2400

**Tabel 4.11** Hasil Percobaan Sudut injeksi  $18^0$  sebelum TMA(solar)

Solar bekerja pada kondisi terbaik atau standar yaitu 18 derajat sebelum titik mati atas sesuai spesifikasi.



**Gambar 4.9** Ignition Delay Process Sudut injeksi 18<sup>0</sup> sebelum TMA (solar)

**Tabel 4.12** Hasil Percobaan Sudut injeksi 18<sup>0</sup> sebelum TMA(solar + CNG)

Solar + CNG 10% (Sudut injeksi 18 <sup>0</sup> sebelum TMA)				
Beban	RPM	Voltase	Arus	Daya
1000	1495	150	2.9	435
2000	1476.8	150	6.2	930
3000	1492	150	9.4	1410
4000	1539.5	150	12.7	1905
5000	1580.8	150	16	2400

Penambahan CNG pada kondisi standar, mempersingkat waktu chemical delay sehingga titik start of combustion akan maju dan tekanan maksimum akan tinggi namun durasi after burning akan tetap.



## Ignition Delay Process

**Gambar 4.10** Ignition Delay Process Sudut injeksi  $18^0$  sebelum TMA (solar + CNG)

Penambahan tekanan akan meningkat karena setelah peak pressure bahan bakar terus disemprotkan atau dalam kata lain “afterburning diperlambat”. Sehingga tekanan akan meningkat.

### c. Hasil Percobaan untuk perubahan sudut 10 derajat sebelum TMA :

**Tabel 4.13** Hasil Percobaan Sudut injeksi  $10^0$  sebelum TMA(solar)

Solar (Sudut injeksi $9^0$ sebelum TMA)				
Beban	RPM	Voltase	Arus	Daya
1000	1492	150	2.9	435
2000	1475	150	6.2	930
3000	1490	150	9.4	1410
4000	1526	150	12.7	1905
5000	1572	150	16	2400

Titik ignition delay akan lebih singkat karena bahan bakar dimasukkan saat temperature sudah tinggi, namun karena sudut injeksi yang diperlambat, saat pencapaian tekanan tinggi atau controlled combustion jauh setelah TMA

sehingga proses tenaga kurang dan daya yang dihasilkan turun.



### Ignition Delay Process

**Gambar 4.11** Ignition Delay Process Sudut injeksi 10<sup>0</sup> sebelum TMA (solar)

**Tabel 4.14** Hasil Percobaan Sudut injeksi 10<sup>0</sup> sebelum TMA(solar + CNG)

Solar + CNG 10% (Sudut injeksi 10 <sup>0</sup> sebelum TMA)				
Beban	RPM	Voltase	Arus	Daya
1000	1492	150	2.9	435
2000	1475	150	6.2	930
3000	1496.3	150	9.4	1410
4000	1526.2	150	12.7	1905
5000	1577.5	150	16	2400

Titik ignition delay lebih singkat karena bahan bakar dimasukkan saat temperature sudah tinggi, namun karena penambahan bahan bakar CNG waktu chemical delay menjadi lebih singkat lagi. Sehingga waktu yang dibutuhkan untuk mencapai tekanan tinggi atau controlled combustion lebih cepat daripada saat sudut yang sama dengan bahan bakar solar

*Halaman Ini Sengaja Dikosongkan*



## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1.Kesimpulan**

Selama pengerjaan modifikasi sistem injeksi dan menganalisa hasil, maka kesimpulan yang dapat diambil :

1. Untuk Perubahan volume injeksi dari motor diesel, penambahan packing pada fuel injection pump dapat dilakukan, namun memiliki batasan yaitu 4.5mm, 5mm dan 5.5mm dan debit yang diinjeksikan secara berturut – turut adalah 0.056ml, 0.048ml dan 0.028 ml. Bila diberi packing dibawah tebal di atas maka volume tidak berubah dan bila diberi tebal packing diatas 5.5 mm maka fuel injection tidak mampu menginjeksikan bahan bakar.
2. Modifikasi sudut injeksi dapat dilakukan dengan merubah besar pengencangan torsi pada baut fuel injection pump bila torsi dikurangi 0.5 (torsi menjadi 2kgf) kgf maka sudut menjadi 15 derajat sebelum TMA dan bila torsi ditambah 0,5 kgf (torsi baut menjadi 3.5) sudut injeksi menjadi 21 derajat sebelum TMA. Namun metode yang paling akurat adalah dengan variasi ketebalan packing dengan mengacu pada bentuk cam lift, dalam percobaan packing dari mesin dilepas untuk mendapatkan *advanced combustion* dan penambahan packing 1 mm sehingga packing yang dipakai menjadi 1.5 mm untuk mendapatkan *retarded combustion* dengan sudut berturut – turut adalah 21 derajat dan 15 derajat sebelum titik mati atas.
3. Untuk modifikasi yang paling tepat dalam perubahan volume injeksi tidak dapat dilakukan karena dengan penambahan packing 4.5 mm, 5mm

dan 5.5 mm sudut injeksi berubah menjadi 16 dan 18 derajat **setelah** titik mati atas sehingga mesin tidak dapat beroperasi, sementara perubahan sudut injeksi adalah dengan penambahan packing.

## 5.2 Saran

Untuk kedepannya agar mencoba modifikasi injector untuk merubah volume injeksi dari motor diesel, dan untuk mendapatkan daya yang dihasilkan dari perubahan sudut disarankan agar pengetesan performa dengan metode pengereman dan tidak menggunakan metode pengkopelan dengan generator.

## BIODATA PENULIS



Penulis merupakan anak kedua dari tiga bersaudara yang dilahirkan pada 9 Pebruari 1992. Penulis memulai pendidikannya sejak lahir oleh bimibingan orang tua dan memulai pendidikan akademis pada umur 6 tahun di SDN Sidokumpul II Gresik, baru menjalani 3 bulan penulis berpindah sekolah ke SDN Kebonsari II Tuban selama 3 tahun karena pekerjaan orang tua ditempatkan di Tuban kala itu, dan kembali lagi ke SDN Sidokumpul II Gresik. Kemudian dilanjutkan untuk pendidikan menengah pertama di SMPN 3 Gresik selama 3 tahun dan melanjutkan ke SMAN 1 Gresik selama 3 tahun. Masa SMA penulis diisi dengan banyak kegitan ekstra non-sekolah yang menuntut penulis untuk sering tidak bisa hadir di sekolah. Kegiatan yang dilakukan waktu itu adalah sebagai atlit sepakbola sehingga penulis sering berpindah - pindah kota. Namun masa itu diakhiri waktu menginjak kelas 3 SMA karena tidak membuahkan hasil. Sehingga penulis mampu melanjutkan jenjang pendidikannya di Institut Teknologi 10 Nopember Surabaya.

Menginjak tahun kedua penulis mulai membagi fokusnya ke pengembangan diri dengan cara mencari kerja paruh waktu mulai dari guru les privat hingga menyebar brosur untuk membangun percaya diri dan mencari pengalaman, hingga

akhirnya penulis ikut di dalam pekerjaan kontraktor milik teman dan perusahaan swasta. Pengalaman ini membawa efek negatif namun juga positif namun semua itu adalah untuk diambil hikmahnya.

# LAMPIRAN

## Spesifikasi Mesin

Model	Unit	TF30	TF30-H	TF60	TF60-H	TF70	TF70-H	TF100	TF100-H	TF190	TF190-H	TF110	TF110-H	TF120	TF120-H	TF140	TF140-H	TF190	TF190-H		
Type		Horizontal, water-cooled 4-cycle diesel																			
Combustion system		Direct injection																			
No. of cylinders		1																			
Bore x stroke	mm	74 x 72	75 x 80	78 x 80	80 x 87	85 x 87	88 x 96	92 x 96	96 x 105	102 x 105											
Displacement	l	0.309	0.353	0.382	0.437	0.493	0.583	0.638	0.760	0.867											
Rated continuous output	HP/rpm	4.5/2400	5.0/2400	6.0/2400	7.5/2400	8.5/2400	10.0/2400	10.5/2400	12.5/2400	14.0/2400											
	kW/rpm	3.4/2400	3.7/2400	4.5/2400	5.6/2400	6.3/2400	7.5/2400	7.8/2400	9.3/2400	10.4/2400											
At 1 hr. rated output	HP/rpm	5.0/2400	6.0/2400	7.0/2400	8.5/2400	9.5/2400	11.0/2400	12.0/2400	14.0/2400	16.0/2400											
	kW/rpm	3.7/2400	4.5/2400	5.2/2400	6.3/2400	7.1/2400	8.2/2400	9.0/2400	10.4/2400	11.9/2400											
Specific fuel consumption	g/HP-hr	175			174			170			188			195							
Compression ratio		18.4	17.9	18.1	18.0			17.9			17.7			17.8							
Position of PTO		Flywheel side																			
Direction of crankshaft rotation		Counterclockwise viewed from flywheel																			
Fuel oil applicable		Gas oil or Light oil (UK BS 2889 A1 or Equivalent)																			
Fuel injection pump		Booth type																			
Injection timing	deg.	bTDC 12.5	bTD 17.0			bTDC18.0			bTDC17.0												
Injection pressure	kg/cm <sup>2</sup>	200																			
F.O. tank capacity	ℓ (US gal)	5.6 (1.48)	7.1 (1.88)			10.5 (2.77)			11.0 (2.91)			14.3 (3.78)									
Lubrication system		Complete enclosed forced lubricating system with hydraulic pressure regulating valve																			
Lubricating oil applicable		API grade CB or CC																			
Lubricating oil capacity (Oil pan) Effective/Total	ℓ (US gal)	0.4/1.2 (0.11/0.32)	0.6/1.8 (0.16/0.48)			0.8/2.2 (0.21/0.58)			1.0/2.8 (0.26/0.74)			1.5/3.0 (0.40/0.79)									
Cooling system		Radiator	Hopper	Radiator	Hopper	Radiator	Hopper	Radiator	Hopper	Radiator	Hopper	Radiator	Hopper	Radiator	Hopper	Radiator	Hopper	Radiator	Hopper		
Cooling water capacity	ℓ (US gal)	1.20 (0.32)	5.0 (1.32)	1.25 (0.33)	8.00 (2.11)	1.25 (0.33)	8.00 (2.11)	1.65 (0.44)	8.9 (2.36)	1.65 (0.44)	8.9 (2.36)	2.3 (0.61)	12.0 (3.17)	2.3 (0.61)	12.0 (3.17)	3.00 (0.79)	13.00 (3.43)	3.00 (0.79)	13.00 (3.43)		
Starting system		Manual or Electric																			
Engine dimensions	Overall Length	mm	523	607			676			696			776								
	Overall Width	mm	311	311			329			349			380								
	Overall Height	mm	463	469			496			530			621								
Engine dry weight	kg (lb)	47.5 (104.7)	48 (101.4)	68 (149.9)	65 (143.3)	68 (149.9)	65 (143.3)	86.5 (190.7)	85 (187.4)	86.5 (190.7)	85 (187.4)	101 (220.7)	99 (218.3)	101 (220.7)	99 (218.3)	140 (308.6)	138 (299.6)	140 (308.6)	136 (299.6)		

*Halaman Ini Sengaja Dikosongkan*

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Harold C Weber, Herman P. Meissner,(1970), *Thermodynamics for Chemical Engineers* : New Delhi : First Wiley Eastern Reprint
- [2] J.M Smith, H.C. Van Ness, M.M Abbot (2001), *Introduction to Chemical Engineers Thermodynamics* : Singapore : McGrawHill Higher Education
- [3] John B. Heywood, *Internation Engine Combustion Fundamentals*, United States : McGraw Hill Hill Higher Education
- [4] KlossMollenhauer, Helmut Tschoeke, *Handbook of Diesel Engines*: Germany. Springer
- [5] *Wikipedia.org*

*Halaman ini sengaja dikosongkan*